Über Richtungsbewegungen, hervorgerufen durch Verletzungen und Assimilationshemmung

von

Anton Heidmann.

(Mit 2 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 30. Oktober 1913.)

Einleitung.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß bei verschiedenen höheren Pflanzen (gewöhnlich werden die Koniferen als Beispiele angeführt), ein Verlust oder eine irgendwie starke Schädigung des normal, orthotrop wachsenden Hauptsprosses das Abweichen einer oder mehrerer Seitenachsen von der ihnen eigentümlichen plagiotropen Wachstumsrichtung bedingt. In der Regel kommt diese Erscheinung in der Weise zum Ausdrucke, daß die eine oder andere Achse sich geotropisch aufrichtet und hierdurch der verloren gegangene Hauptsproß ersetzt wird.[1] Ganz ähnliche Verhältnisse bestehen auch zwischen Haupt- und Nebenwurzeln, indem nach einer Verletzung der Hauptwurzel gewöhnlich die zunächst befindliche Nebenwurzel ihre seitliche Wachstumsrichtung ändert und senkrecht nach abwärts wächst.

Daß sogar Beziehungen zwischen ober- und unterirdischen vegetativen Organen bezüglich der Richtung, in der sie wachsen,

---

[1] J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, II. Aufl. Leipzig; bei Engelmann, 1887, p. 509ff., und K. v. Goebel, Einleitung in die experimentelle Morphologie; Verlag Teubner, Leipzig und Berlin 1908, p. 71 ff.

bestehen, hat schon Knight[1] gezeigt; derselbe führt an, daß, wenn man einer Kartoffelpflanze, ehe die Knollenbildung begonnen hat, die oberirdischen Sprosse abschneidet, die unterirdischen zu über den Boden tretenden Laubsprossen auswachsen.

Übrigens hat sich herausgestellt, daß die Wachstumsrichtung von Seitenorganen auch in Abhängigkeit steht zu der Stelle, von welcher sie ausladen, wie es Dostal[2] bei *Circaea*-Stecklingen beobachtet hat. Ähnlich ist auch das Verhalten von *Araucaria*-Stecklingen (Vöchting).[3]

In einem gewissen Zusammenhange mit den vorerwähnten Beispielen steht auch der Fall, von welchem Schütze[4] spricht; derselbe fand, daß bei einseitiger Verletzung der Wurzelspitze bei sehr jugendlichen Keimlingen das Hypokotyl oder der Kotyledo zu einer entsprechenden »traumatropischen« Krümmung veranlaßt wird.

Durch welche Momente dieses auffällige Verhalten der verschiedenen Organe bedingt wird, ist in seinen Einzelheiten zurzeit nichts weniger als bekannt. Es wird ja durch den Verlust der einzelnen Teile von verschiedener morphologischer Wertigkeit das Gleichgewicht der Ernährungsverhältnisse in den einzelnen Partien der Pflanze gestört und sicherlich werden auch die zwischen diesen bestehenden Korrelationen geändert. Es könnte aber auch die Verwundung, der Wundreiz selbst, in einem gewissen Maße für die Änderung der Wachstumsrichtung verantwortlich gemacht werden.

Daß Richtungsbewegungen durch Verwundungen sich auslösen lassen, zeigt ja schon die sogenannte Darwin'sche Wurzelkrümmung. Bei dieser wird durch einseitige Verletzung, respektive Reizung der Wurzelspitze ein Tropismus induziert,

---

[1] Knight, vgl. K. v. Goebel, Organographie der Pflanzen, II. Aufl.; G. Fischer, Jena 1913, p. 714.

[2] R. Dostal, Zur experimentellen Morphogenesis bei *Circaea* etc.; Flora, III. Bd., Heft 1 (1911), p. 1.

[3] H. Vöchting, Über die Regeneration von *Araucaria excelsa*. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XL (1904), p. 144.

[4] R. Schütze, Über das geotropische Verhalten des Hypokotyls etc.; Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. (1910), Bd. 48, p. 403 ff.

der sich durch eine schwache Krümmung von der Reizstelle weg, äußert.[1] An oberirdischen Pflanzenteilen wurde hingegen bisher ein solcher einwandfrei nicht nachgewiesen, obzwar einige Autoren nach erfolgten Verwundungen an krümmungsfähigen Organen Tropismen fanden, welche eine gewisse Analogie mit der Darwin'schen Wurzelkrümmung zeigen. So fand Fitting[2] gelegentlich seiner unten zitierten Studie, daß weder die phototropische Reizleitung von der Spitze zur Basis noch auch die Intensität und Geschwindigkeit der phototropischen Reiztransmission geschwächt wurde, wenn er beliebig orientierte, quere Einschnitte durch die Hälfte bis Dreiviertel des Koleoptilenumfanges machte, oder wenn er überhaupt jede geradlinige Verbindung zwischen der Perzeptions- und der basalen Reaktionszone durch doppelseitige quere Einschnitte je bis über die Mitte des Kotyledo unterbrach. Dabei zeigte es sich nun, daß zunächst eine geringe Wegkrümmung von der Wundstelle eintrat, welcher dann eine ausgesprochenere nach der Wunde hin folgte. Er sagt: »Der Gedanke liegt nahe, daß die erste Krümmung etwa der traumatropischen Reaktion der Wurzel zu vergleichen sein könnte.«

Auch Sperlich,[3] der die Gipfeleinkrümmung junger Keimpflanzen verschiedener Dikotyledonen und ihre Beeinflussung durch äußere Faktoren, wie Schwerkraft, Licht, Verwundung u. a. untersuchte, bemerkte, daß Verwundungen an *Helianthus*-Keimlingen krümmungsverstärkend wirkten und sagt unter anderen: »Ein krümmungsrichtender Einfluß durch traumatische Eingriffe ist demnach möglich. Es kann ein tropistischer Wundreiz von den Kotyledonen in die obere Krümmungszone des Hypokotyls geleitet werden.«

---

[1] Die diesbezügliche Litteratur findet man in der kürzlich erschienenen Arbeit O. Günther's: »Über den Traumatropismus der Wurzel«. Inauguraldiss. der Berliner Universität (11. Jänner 1913). — Vgl. auch J. Wiesner, Untersuchungen über die Wachstumsbewegungen der Wurzeln; diese Sitzungsber., Bd. 89 (1887).

[2] H. Fitting, Die Leitung tropistischer Reize in parallelotropen Pflanzenteilen. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLIV (1907), p. 177.

[3] A. Sperlich, Über Krümmungsursachen bei Keimstengeln und beim Monokotylenkeimblatte etc. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. L (1912), p. 502.

Es dürfte schwer sein, diese an und für sich schon komplizierten Verhältnisse an älteren, normal bewurzelten Pflanzen zu studieren, wo ja so mannigfache Teile, wie wir gesehen haben, in korrelativer Abhängigkeit zueinander stehen. Wir wissen ja z. B. nicht einmal, ob durch die Wegnahme des einen oder anderen Assimilationsorganes von einem beblätterten, wachstumsfähigen Sprosse die natürliche Wachstumsrichtung desselben beeinflußt wird oder nicht.

Ich hielt es deshalb zunächst am zweckmäßigsten, diese Verhältnisse an orthotrop wachsenden Keimpflanzen von Dikotyledonen zu untersuchen[1] und nachzusehen, ob durch Eingriffe, die an dem einen oder anderen Kotyledo vorgenommen werden, eine Änderung der einmal eingeschlagenen Wachstumsrichtung, und zwar zunächst der Hypokotyle[2] erzielt wird.

Die Dikotyledonenkeimlinge erschienen mir für diese Zwecke deswegen am geeignetesten, weil ein normal entwickelter Keimling, der die Testa abgeworfen, respektive seine Keimblätter entfaltet und seiner Nutationsbewegungen, mittels derer er sich aus der Erde herausarbeitet, abgeschlossen hat, sich in einem gewissen Gleichgewichtszustande in bezug auf sein Wachstum befindet. Falls seine Keimblätter gleich groß sind, enthalten sie annähernd die gleiche Menge von Reservestoffen und, wenn sie auch zugleich Assimilationsorgane sind, werden sie der Pflanze gleich viel Assimilate zur Verfügung stellen und erhalten auch dieselbe Quantität von Nährstoffen durch die Wurzeltätigkeit.

In den nachfolgenden Zeilen soll nun auseinandergesetzt werden, auf welche Art und Weise Keimlinge von Dikotyledonen auf künstlich herbeigeführte, einseitige Ernährungsstörungen reagieren. Solche löste ich durch folgende Eingriffe aus.

---

[1] An dieser Stelle erlaube ich mir, Herrn Prof. Dr. H. Molisch für seine Anregungen und zahlreichen Ratschläge bei der Durchführung dieser Arbeit meinen besten Dank auszusprechen, ebenso auch Herrn a. o. Univ. Prof. Dr. W. Figdor, der es mir zudem möglich gemacht hat, die Versuche in der »Biologischen Versuchsanstalt in Wien« auszuführen.

[2] Bezüglich der Keimlinge, welche ein Epikotyl entwickeln, und bezüglich älterer Pflanzen betrachte ich meine Versuche als noch nicht abgeschlossen und werde darüber an anderer Stelle berichten.

Es wurde das eine der Keimblätter oder ein Teil desselben abgetrennt, so zwar, daß immer nur eine Symmetriehälfte der Pflanze im Wachstume gestört erschien. Durch diese Operation ergab sich eine Krümmung des Hypokotyls nach der verletzten Seite hin.[1] Natürlich traf ich Vorsorge, daß diese Krümmung nicht etwa mit einer heliotropischen verwechselt werden konnte. Da dem Eintritte einer Krümmung der Geotropismus entgegenwirkte, war anzunehmen, daß dieselbe viel stärker auftreten müßte, wenn der Einfluß der Schwerkraft von allen Seiten annähernd gleich groß gemacht worden war. Die Versuchsergebnisse bestätigten diese Annahme.[2]

Einige Pflanzen kamen nach der obenerwähnten Operation in einen Dunkelraum, um die assimilierende Tätigkeit des übriggebliebenen Kotyledo zu sistieren. Auch dadurch wurde das Endergebnis nicht beeinflußt.

Um dem etwaigen Einwande entgegenzutreten, die Krümmung wäre dem durch die Verwundung eingetretenen Säfteverluste zuzuschreiben, stellte ich einige operierte Pflanzen in einen nahezu dunstgesättigten Raum, oder die Schnittwunde wurde mit Vaseline verklebt. Der Reaktionsverlauf änderte sich auch hierbei nicht.

Es wäre nun anzunehmen gewesen, daß die Pflanzen ein gleiches Verhalten zeigen würden, wenn man zwar das Blatt stehen gelassen, aber entweder die Haupt- und Nebennervatur durchschnitten oder die Blattlamina am Blattgrunde soweit durchtrennt hätte, als daß das Blatt gerade noch am Abknicken verhindert wurde. Es zeigte sich aber merkwürdigerweise eine viel intensivere Krümmung, die betreffs der Richtung gerade konträr derjenigen war, die für gewöhnlich nach Abtrennung des einen Kotyledo erfolgte.[3] Dasselbe Resultat erreichte ich auch dadurch, daß ich den einen Kotyledo mittels eines lichtundurchlässigen, schwarzen Papiersäckchens verdunkelte, in welchem Falle also der Pflanze keine Verwundung beigebracht worden war, sondern nur die Assimilation des nun verdunkelten

---

[1] Siehe Taf. I, Abbildung 2.

[2] Siehe Taf. I, Abbildung 1.

[3] Siehe Taf. II, Abbildung 1, 2 und 3.

Keimblattes verhindert wurde.[1] Gleich hier soll ein für allemal gesagt werden, daß die eingetretenen Krümmungen nach einer gewissen Zeit, die bei den einzelnen Arten verschieden war, ausgeglichen wurden.

Folgende Pflanzen dienten zu den Versuchen:

Ricinus Gibsonii L.	(*Euphorbiaceae*).
Mirabilis Jalapa L.	(*Nyctinagaceae*).
Lepidium sativum L.	(*Cruciferae*).
Sinapis alba L.	»
Raphanus sativus L.	»
Impatiens Balsamina L.	(*Balsaminaceae*).
Galium aparine L.	(*Rubiaceae*).
Cucumis sativus L.	(*Cucurbitaceae*).
Cucurbita Pepo L.	»
Helianthus annuus L.	(*Compositae*).
Calendula officinalis L.	»

Eine Reihe von Experimenten wurde auch mit Keimpflanzen von *Amaranthus* sp., *Pelargonium* sp. und *Solanum* sp. gemacht, welche aber negative Resultate ergaben, die einen wegen ihrer Kleinheit, die anderen wegen ihres viel zu langsamen Wachstums.

Versuchsanordnung.

Die Versuche wurden angestellt in einem gleichmäßig geheizten Warmhause in chemisch einwandfreier Luft, da, wie Molisch[2] und Richter[3] nachgewiesen haben, Keimpflanzen in verunreinigter Luft in bezug auf Tropismen oft ein ganz anderes Verhalten zeigen als in reiner.

Als Versuchspflanzen verwendete ich die oben erwähnten Dikotyledonenkeimlinge. Wie zu sehen ist, wurden solche genommen, welche leicht keimen und ein schnelles Wachstum zeigen. Die Samen kamen ins Wasser zum Anquellen

[1] Siehe Taf. II, Abbildung 4, 5, 6, 7 und 8.

[2] H. Molisch, Über Heliotropismus im Bakterienlichte; diese Sitzungsber., Bd. 111 (1902), Abt. I, p. 141. — Derselbe, Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium; Berichte der Deutschen bot. Ges. (1905), XXIII, p. 1 bis 8.

[3] O. Richter, Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus; diese Sitzungsber., Bd. 115 (1906).

und hierauf in mit Erde gefüllte Blumentöpfe. Die Versuche wurden dann eingeleitet, wenn die Keimlinge die Samenschale abgeworfen und sich die Kotyledonen entfaltet hatten. Vielfach wurde die Testa auch vorsichtig entfernt, wenn dieses leicht ging und eine Verletzung der Keimblätter ausgeschlossen war. Speziell bei *Helianthus* und *Cucurbita* erwies es sich als zweckmäßig, weil bei diesen Pflanzen die Samenschale oft schwer abgestoßen wird und die Kotyledonen sich bei künstlich entfernter Testa viel schneller und gleichmäßiger ausbreiten als sonst, auch überhaupt die ganze Pflanze viel gerader wächst und sich die Gipfeleinkrümmung (Nutation) früher ausgleicht.[1] In Verwendung kamen nur ausgesucht gerade Exemplare.

Zu Beginn der Versuche wurden die Keimlinge gemessen, bei den stärkeren Pflanzen die Höhe des Hypokotyls sowie die Länge und Breite der Kotyledonen, bei den kleineren nur die Höhe des Hypokotyls. Die Krümmung wurde festgestellt mittels einer durchsichtigen, steifen Zelluloidplatte von Kartonstärke, auf der mittels Zirkels in Abständen von je 5 *mm* Kreisbögen von einem gemeinsamen Mittelpunkte aus aufgetragen waren. Wenn man nun den Streifen zwischen das Auge und die zu messende Pflanze brachte, konnte man leicht die Krümmung des Keimlings mit einem der aufgetragenen Kreisbögen in Deckung bringen und damit auch den Krümmungsradius des Pflanzenteiles bestimmen.

Bei allen Versuchen war es von unbedingter Wichtigkeit, die Pflanzen vor einseitiger Belichtung zu schützen, um einwandfreie, nicht etwa durch heliotropische Reize beeinflußte Resultate zu erhalten. Um dieses zu erreichen, kamen die Pflanzen auf einen mittels Uhrwerkes getriebenen Klinostaten, welcher stündlich annähernd eine Umdrehung machte, und wurden in dauernder Rotation um ihre vertikale Achse gehalten. In ähnlicher Weise konnte auch der Geotropismus ausgeschaltet, und zwar durch Rotation um eine horizontale Achse. Die Pflanzen befanden sich im letzteren Falle im dunstgesättigten Raume.

---

[1] Mit Keimpflanzen, welche dieses tadium noch nicht erreicht hatten, beschäftigt sich die Arbeit von A. Sperlich, l. c., p. 3.

Viele Kontrollversuche machte ich im Dunkelraume und in nahezu dunstgesättigter Athmosphäre.

Folgende Eingriffe wurden zur Auslösung der Tropismen angewendet:

1. Amputation des einen der Kotyledonen. Das zu entfernende Keimblatt wurde vorsichtig mit einer Pinzette erfaßt und mittels eines scharfen Skalpells in einer Entfernnng von 2 bis 3 *mm* vom Stiele abgetragen. Bei Pflanzen, welche keinen Kotyledonarstiel hatten, wurde ein schmales, 2 bis 3 *mm* breites Stück der Lamina übrig gelassen.

2. In ähnlicher Weise entfernte ich nur einen Teil des Keimblattes.

3. Es wurde bei Keimpflanzen, welche eine deutliche Mittelnervatur zeigten, durch einen Schnitt nahe am Blattgrunde die Nervatur des einen der Kotyledonen durchtrennt. Um ein Zusammenwachsen[1] zu verhindern, wurde parallel zu dem ersten Schnitt in einer Entfernung von 2 bis 3 *mm* ein zweiter gemacht und durch seitliche Einschnitte das zwischen ihnen befindliche Blattstück entfernt.

4. Es wurden nahe am Blattgrunde des einen der Kotyledonen viereckige Stückchen der Blattlamina an den Stellen, wo die Hauptnerven durchgingen, herausgeschnitten. Diese Stückchen waren 3 bis 4 *mm* lang und 1 bis 2 *mm* breit und hatten ihre längere Seite senkrecht auf die Achse des Blattes (siehe Taf. II, Abbildung 2).

5. Es wurde ein Keimblatt mittels eines lichtundurchlässigen, schwarzen Papiersäckchens derartig zugedeckt, daß das ganze Blatt vom Lichte vollständig abgeschlossen war. Das Gewicht des Papieres, das vollständig geruchlos war, betrug zirka 0·5 *g* pro Quadratdezimeter. Es wurde dieser Versuch auch in der Art angestellt, daß auf Ober- und Unterseite des einen Kotyledo eine Mischung von Kienruß und Vaseline aufgetragen wurde. Nachdem aber durch einen derartigen Eingriff auch jedwede Transpiration unterbunden erschien, sah ich von dieser Versuchsanordnung ab.

[1] S. Simon, Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung von Gefäßverbindungen; Berichte der Deutschen bot. Ges., Festschrift, Bd. XXVI (1908), p. 364.

Spezieller Teil.

I. Versuche mit Keimlingen, denen der eine ganze Kotyledo oder ein Teil desselben amputiert wurde.

A. Pflanzen, rotierend um die vertikale Achse des Klinostaten.

1. Ricinus Gibsonii L.

Die Samen von *Ricinus* haben die Eigentümlichkeit, daß die Hauptmasse der Reservestoffe im Endosperm enthalten ist und sich die Keimblätter verhältnismäßig spät entfalten. Die Kotyledonen wirken in diesem Falle zuerst bloß als Saugorgane, welche das Endosperm entleeren. Wenn sie sich entfaltet haben, sind sie mit Reservestoffen, die sie aufgesaugt haben, gefüllt und bilden sekundäre Reservestoffbehälter. Ist dieses eingetreten, so unterscheiden sie sich nicht mehr von den Keimblättern des Typus *Helianthus* (Haberlandt).[1] Die Versuche wurden erst in diesem Entwicklungszustande angestellt.

Ricinus Gibsonii L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
26. XI.	12·0	4·4	3·8		
27. »	13·0	4·5	4·2	15·5	Krümmung im obersten Drittel.
26. XI.	10·0	3·5	3·2		
27. »	10·5	3·6	3·3	12	Krümmung in der oberen Hälfte.

[1] G. Haberlandt, Schutzeinrichtungen in der Entwicklung der Keimpflanzen.

* In den Tabellen ist enthalten: In Rubrik 1 das Datum der Operation, die darunter befindlichen Zahlen bedeuten die Tage, an welchen bei den Pflanzen die Krümmungen gemessen wurden.

In Rubrik 2 die Länge des Hypokotyles von seinem Austritt aus der Erde bis zu der Basis der Kotyledonen.

In Rubrik 3 bedeutet die erste Zahl die Länge, die rechts danebenstehende die Breite der Kotyledonen.

In Rubrik 4 ist die Größe des Krümmungsradius angegeben.

Sämtliche Maße sind in Zentimetern angeführt.

1	2	3		4	Anmerkung
26. XI.	8·0	3·1	2·3		
27. »	9·5	3·3	2·5	7	Ganze Pflanze gekrümmt.
26. XI.	11·5	4·5	3·8		
27. »	12·0	4·8	4·0	10·5	Krümmung in den oberen zwei Dritteln.
25. XI.	5·9	3·9	2·8		
26. »	6·5	4·2	3·0	5·5	Krümmung in den oberen zwei Dritteln.
27. »	7·0	4·3	3·2	5·5	
8. I.	16·2	5·6	3·5		
11. »	16·5	6·2	3·8	9	Krümmung im obersten Drittel.
8. I.	16·5	5·7	4·2		
11. »	16·6	5·7	4·3	0	Wegen zu geringen Wachstumes keine Krümmung.
18. I.	7·9	4·0	3·2		
20. »	8·2	4·5	3·6	6·5	Krümmung in den obersten zwei Dritteln.

2. Mirabilis Jalapa L.

Bei *Mirabilis Jalapa* sind die Kotyledonen nicht ganz gleich groß, und zwar hauptsächlich die Kotyledonarstiele ungleich lang; dieses hängt mit der Lage der Kotyledonen innerhalb des Samens zusammen, indem in demselben das eine Keimblatt in das andere eingeschachtelt ist (Anisokotylie).[1]

Bei den nachfolgenden Operationen hat sich kein Unterschied ergeben, ob man das größere oder kleinere Keimblatt wegoperierte.

[1] W. Figdor, Die Erscheinung der Anisophyllie. (Verlag Franz Deuticke, Leipzig und Wien 1909), p. 38.

Mirabilis Jalapa L.

1*	2*	3*		Anmerkung
18. XI.	1·6	2·2	1·8	In allen Fällen, bis auf den letzten, wo kein Wachstum sich zeigte, trat eine schwache Krümmung des Hypokotyls ein und der vor der Operation einen Winkel zum Hypokotyl bildende Stiel der Kotyledonen stand gerade aufrecht.
19. »	1·8	—	2·5	
18. XI.	2·2	2·6	2·1	
19. »	2·5	3·3	—	
18. XI.	2·0	3·1	2·8	
19. »	2·0	—	3·7	
18. XI.	2·5	3·5	3·1	
19. »	2·5	3·5	—	

3. Lepidium sativum L.

4. Sinapis alba L.

5. Rhaphanus sativus L.

Das bei *Mirabilis Jalapa* betreffs der morphologischen Verhältnisse der Kotyledonen Gesagte gilt auch für diese Pflanzen.

In den folgenden Tabellen ist enthalten:

In Rubrik 1 die Anzahl der operierten Exemplare.

In Rubrik 2 das Datum der Operation, die darunter befindliche Zahl bedeutet den Tag, an welchem die Krümmung gemessen wurde.

In Rubrik 3 die Länge des Hypokotyls.

In Rubrik 4 die Größe des Krümmungsradius.

Lepidium sativum L.

1	2	3	4	Anmerkung
5	7. XI.	4·0		Krümmung im obersten Viertel, welche sich hauptsächlich bemerkbar macht durch die Steilstellung des übriggebliebenen Kotyledo.
	8. »	5·0	3—4	

* Siehe Anmerkung p. 1235 mit dem Unterschiede, daß in Rubrik 3 die erste Zahl die Länge des größeren, die rechts danebenstehende die Länge des kleinen Kotyledonen bedeutet.

1	2	3	4	Anmerkung
5	22. I.	2·5—3·5		Krümmung im obersten Viertel, welche sich hauptsächlich bemerkbar macht durch die Steilstellung des übriggebliebenen Kotyledo.
	23. »	3·0—4·0	3—5	
7	22. I.	2·0—3·0		Ins Dunkle gestellt.
	23. »	3·0—3·5	1·5—5	Die Pflanzen, welche bei der Operation am kürzesten waren, zeigten die stärkeren Krümmungen.
12	19. II.	2·0—2·5		Wie die vorhergehenden Pflanzen.
	20. »	2·5—3·0	1·5—5	
12	14. III.	1·5—1·7		Die Kultur in feuchten Raum gestellt.
	15. »	2·5—3·0	1·2—5	Ganze Pflanze gekrümmt.

Sinapis alba L.

1	2	3	4	Anmerkung
3	14. I.	3·5—5·0		
	16. »	4·0—6·0	7—9	Die ganze Pflanze gekrümmt.
5	18. I.	1·5—2·0		
	20. »	2·5—3·0	2—3	Die ganze Pflanze gekrümmt.
6	15. III.	1·5—2·0		In feuchten Raum gestellt.
	16. »	2·0—2·5	9—10	

Raphanus sativus L.

1	2	3	4	Anmerkung
8	20. I.	3·0—4·0		
	22. »	4·0—5·0	5—7	Krümmung in den obersten zwei Dritteln.
6	19. II.	2·5—3·0		Im feuchten Raume gehalten.
	20. »	3·0—3·5	1·4—2	Die ganzen Pflanzen gekrümmt.

6. Impatiens Balsamina L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
11. XI.	4·5	0·8	0·7		
12. »	4·7	0·9	0·7	2	Krümmung in der obersten Hälfte.
11. XI.	2·8	0·7	0·65		
12. »	3·0	0·7	0·65	1·5	Krümmung in der obersten Hälfte.
18. »	4·5	0·12	1·0	3	Krümmung hat sich nach unten weiter fortgesetzt.

7. Galium aparine L.

Die Rubriken in der folgenden Tabelle bedeuten dasselbe wie die, welche bei *Lepidium* etc. angeführt worden sind.

1	2	3	4	Anmerkung
5	24. X.	2·5		
	25. »	3·0	6	Krümmung des Hypokotyls und Steilstellung der übriggebliebenen Kotyledonen.

8. Cucurbita Pepo L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
31. III.	4·7	3·5	2·3		
1. IV.	5·3	4·0	2·5	12·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
31. III.	4·2	2·3	1·8		
1. IV.	4·8	2·4	2·0	19	» » »
31. III.	5·0	4·6	2·7		
1. IV.	5·5	5·0	2·9	17	» » »
31. III.	5·7	4·5	3·8		
1. IV.	6·3	4·7	3·0	14	» » »
31. III.	4·7	4·3	3·0		
1. IV.	4·7	4·7	3·1	0	Keine Krümmung, wegen zu geringen Längenwachstums.

* Siehe Anmerkung p. 1235.

9. Cucumis sativus L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
19. II.	3·5	2·1	1·2		
20. »	4·1	2·6	1·5	2	Ganze Pflanze gekrümmt.
19. II.	2·1	1·1			
20. »	4·3	2·7	1·5	3·5	» » »
19. II.	3·1	2·1	1·1		
20. »	4·1	2·6	1·4	2	» » »
5. III.	3·5	2·0	1·2		
6. »	4·3	2·7	1·6	7·5	» » »
5. III.	2·5	1·8	1·0		
6. »	4·6	2·7	1·4	8·5	» » »
5. III.	3·0	1·7	1·0		Halber Kotyledo weggeschnitten.
6. »	4·5	2·5	1·3	3·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
5. III.	2·5	1·6	0·9		Halber Kotyledo weggeschnitten.
6. »	4·1	2·5	1·5	3·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
24. IV., 10h	3·4	2·8	1·2		Ins Dunkle gestellt.
24. » 5h	8·9	3·0	1·8	6	Ganze Pflanze gekrümmt.
24. IV., 10h	3·4	3·3	1·9		
24. » 5h	4·2	3·5	2·4	4	» » »
24. IV., 10h	3·7	2·8	1·8		
24. » 5h	4·2	3·0	1·9	4	» » »

* Siehe Anmerkung p. 1235.

10. Helianthus annuus L.[1]

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
11. XI.	6·5	2·2	1·4		Bis am 18. XI. war die Krümmung zurückgegangen, betrug aber noch 19 *cm*.
12. »	7·5	2·2	1·6	12	
11. XI.	4·6	2·2	1·5		
12. »	6·0	2·3	1·6	15	Am 18. XI. keine Krümmung mehr vorhanden.
11. XI.	2·5	2·0	1·0		
12. »	3·5	2·0	1·1	16	»
11. XI.	4·4	1·6	1·0		
12. »	6·0	1·6	1·1	16	»
11. XI.	3·5	2·0	1·1		
12. »	4·7	2·1	1·3	14	»
11. XI.	3·5	1·9	1·2		
12. »	5·0	1·9	1·3		»
2. XII.	3·6	1·3	0·8		
3. »	5·8	1·6	1·3	6·5	Der ganzen Länge nach gekrümmt. Am 5. XII. nur die Plumula allein zur Wunde gekrümmt.
5. »	7·8	2·2	1·5		
2. XII.	4·4	1·5	1·0		
3. »	7·5	2·0	1·3	5·5	Krümmung in der oberen Hälfte. Am 5. XII. nur die Plumula allein zur Wunde gekrümmt.
5. »	9·2	2·2	1·4		
2. XII.	2·5	1·3	0·7		
3. »	4·8	1·7	0·9	2·5	Krümmung im obersten Drittel.
5. »	8·0	2·2	1·2	2·5	» » » »
2. XII.	3·1	1·4	0·7		
3. »	4·2	1·6	1·0	3·5	Krümmung im obersten Viertel.
5. »	7·2	2·1	1·3	2	Krümmung im obersten Drittel.

[1] Betreffs der Nutationen, welche Helianthuskeimlinge aufweisen, vergl. O. Richter, »Pflanzenwachstum und Laboratoriumsluft«. Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. XXI (1905), p. 180ff.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
2. XII.	2·7	1·4	0·8		
3. »	4·9	1·6	1·0	3·5	
5. »	8·0	2·2	1·2	2·5	Krümmung im obersten Viertel.
2. XII.	2·4	1·5	0·9		
3. »	4·0	2·0	1·2	3·5	
5. »	6·0	2·5	1·6	3·5	Krümmung im obersten Viertel.
2. XII.	8·2	2·0	1·1		Den halben Kotyledo abgeschnitten.
3. »	9·5	2·1	1·2	6·5	Krümmung im obersten Drittel.
5. »	12·0	2·3	1·3	9·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
2. XII.	6·0	1·8	0·9		Krümmung in der obersten Hälfte.
3. »	8·6	1·9	1·0	6·5	
5. »	10·0	2·2	1·3	12	Krümmung in den obersten zwei Dritteln.
14. I.	4·9	1·2	0·9		
16. »	10·5	2·2	1·2	8	Krümmung in der obersten Hälfte.
18. »	13·0	2·3	1·4	8	
22. I.	4·0	1·6	1·0		
23. »	6·0	2·1	1·3	15	Krümmung in der obersten Hälfte.
22. I.	5·4	1·6	0·9		
23. »	7·0	1·7	1·0	10·5	Krümmung in den obersten zwei Dritteln.
22. I.	2·8	1·7	1·0		
23. »	4·6	1·8	1·4	8	Ganze Pflanze gekrümmt.
22. I.	5·5	1·6	1·0		Die Wunde wurde mit Vaseline verklebt.
23. »	7·5	2·0	1·2	3·5	Krümmung im obersten Drittel.

* Siehe Anmerkung p. 1235.

11. Calendula officinalis L.

Das über *Mirabilis Jalapa* Gesagte gilt auch für diese Pflanze.

Die Zahlen in den Rubriken 1 bis 4 bedeuten dasselbe wie die auf p. 1237.

1	2	3	4	Anmerkung
10	19. II.	2·0—2·5		
	20. »	2·2—3·0	1—1·5	Meistens ganze Pflanze gekrümmt, oder die obersten zwei Dritteln.
10	3. III.	1·0—1·5		Die Kultur in feuchten Raum gestellt.
	5. »	2·0—2·5	1·5—2·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
	6. »	2·6—3·0	1·5—2·5	» » »

B. Versuche, bei welchen die Pflanzen um die horizontal gestellte Achse des Klinostaten rotierten, um eine annähernd gleichmäßige Wirkung der Schwerkraft zu erzielen.

1. Helianthus annuus L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
20. II.	2·5	1·4	0·85		
21. »	4·0	1·8	1·2	4·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
22. »	5·5	2·5	1·6	2·5	» » »
11. III.	0·9	1·1	0·7		
12. »	1·7	1·2	0·8	2·5	In den oberen zwei Dritteln gekrümmt.
14. »	4·0	2·2	1·5	2·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
11. III.	0·9	1·1	0·7		
12. »	2·1	1·4	0·9	2·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
14. »	6·0	2·3	1·4	2	» » »

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
11. III.	0·9	1·1	0·75		
12. »	1·8	1·6	0·9	2	Ganze Pflanze gekrümmt.
14. »	5·0	2·5	1·7	5·5	» » »
11. III.	0·9	1·1	0·7		
12. »	1·6	1·2	0·9	3·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
14. »	4·5	2·2	1·3	5	» » »
20. II.	3·0	1·6	1·0		Wunde wurde mit Vaseline verklebt.
21. »	5·0	7·8	1·3	3	Ganze Pflanze gekrümmt.
22. »	7·0	2·1	1·4	4·5	
8. III.	1·2	1·2	0·9		
11. »	6·0	3·1	1·8	8	»
8. III.	1·2	1·1	0·9		
11. »	6·3	3·2	1·9	9	»

2. Cucurbita Pepo L.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
1.IV., 11h	2·0	3·8	2·4		
1. » 5h	2·5	4·1	2·8	2	Ganze Pflanze gekrümmt.
3. »	4·3	8·0	4·7	5	
1.IV., 11h	2·0	4·0	2·4		
1. » 5h	2·2	4·5	2·8	3·5	Ganze Pflanze gekrümmt.
3. »	2·8	7·8	4·8	5	

* Siehe Anmerkung p. 1235.

3. Sinapis alba L.

Die Zahlen in den Rubriken 1 bis 4 bedeuten dasselbe wie die auf p. 1237.

1	2	3	4	Anmerkung
6	5. II.	2·0—2·5		
	6. »	3·0—4·0	1—2	Die ganzen Pflanzen gekrümmt.

Folgerungen aus den Versuchen I.

Dadurch, daß von einer Keimpflanze der eine Kotyledo oder ein Teil desselben entfernt wird, tritt eine einseitige Störung im Wachstume der Pflanze ein, da der einen Symmetriehälfte nur weniger Reservestoffe und eventuell auch Assimilationsprodukte, welche in den Kotyledonen gebildet worden waren, zukommen. Diese Wachstumshemmung bedingt eine Krümmung der Pflanze. Sie ist um so stärker, je schneller das Wachstum der Pflanze erfolgt und tritt an der Stelle des größten Wachstums am deutlichsten auf. Diese wurde auf Grund von Versuchen festgestellt, bei denen die Pflanzen mit Tuschmarken versehen waren. Es ergab sich, daß das Hypokotyl von *Helianthus* in der Mitte, von *Ricinus* in der oberen Hälfte und von *Cucumis* in seinem basalen Teile am schnellsten wächst.

Bei dieser Art von Krümmungsbewegung hat die Pflanze das Gegengewicht des ihr gebliebenen Kotyledo zu überwinden; deswegen ist anzunehmen, daß die Krümmung stärker eintreten müsse, wenn die Schwerkraft durch horizontale Rotation am Klinostaten von allen Seiten gleich einwirkt. Die Versuche ergaben die Richtigkeit dieser Annahme.

In jenen Fällen, wo die Wundfläche mit Vaseline verklebt worden war, oder die Pflanzen in einen nahezu dunstgesättigten Raum kamen, trat die Krümmung genau so ein wie sonst.

Bei *Ricinus* trat als eine weitere Folgeerscheinung der Amputation des einen der Kotyledonen eine Asymmetrie des dem

Kotyledo zunächst folgenden Blattpaares ein, wobei infolge der am Anfange dekussierten Blattstellung beide, oberhalb des amputierten Keimblattes befindliche Blatthälften im Wachstume zurückblieben[1] (siehe Taf. I, Abbildung 3).

II. Versuche, bei denen der Ablauf der Reservestoffe und der Assimilationsprodukte des Keimblattes zu den übrigen Teilen der Pflanze verhindert wurde, ohne das Blatt selbst zu entfernen.

Welche Art von Operation in den einzelnen Fällen vorgenommen wurde, ist aus den jeweiligen Anmerkungen zu ersehen.

1*	2*	3*				4*	Anmerkung
			Ricinus				
29. V.	6·0	3·7		3·2			Bei jedem Hauptnerve wurde ein viereckiges Fensterchen herausgeschnitten.
30. »	6·2	4·0	**3·3**	3·4	**3·3**	5	Krümmung in der obersten Hälfte.
30. »	7·0	4·4	**3·8**	3·6	**3·4**	1·5	
29. V.	5·8	4·0		3·2			Operation wie oben.
30. »	6·3	4·3	**4·1**	3·4	**3·3**	3	Krümmung in der obersten Hälfte.
6. VI.	7·0	3·8		3·0			Operation wie oben.
7. »	—	—		—		7	Krümmung in der obersten Hälfte.
9. »	8·2	5·0	**4·0**	4·1	**3·3**	2·5	Krümmung im obersten Drittel.
6. VI.	8·5	3·6		3·0			Operation wie oben.
7. »						7	Krümmung in der obersten Hälfte.
9. »	10·4	4·5	**3·9**	3·8	**3·2**	2	Krümmung im obersten Drittel.
10. »	11·5	4·8	**4·2**	4·0	**3·5**	1·5	

[1] Vergl. K. Boshart, Beiträge zur Kenntnis der Blattasymmetrie und Exotrophie; Flora. Neue Folge, Bd. II (1911), p. 91.

1*	2*	3*				4*	Anmerkung
				Ricinus			
21. IV.	6·0	5·5		4·4			Durch einen Schnitt die Gesamtnervatur durchtrennt.
22. »						9	Krümmung in der obersten Hälfte.
24. »	6·9	5·8	**5·7**	4·7	**4·6**	8	Ganze Pflanze gekrümmt.
				Cucumis			
23. V.	2·7	2·9		1·6			Bei jedem Hauptnerve wurde ein viereckigesFensterchen herausgeschnitten.
26. »	5·5	4·2	**3·3**	2·3	**2·0**	0	Krümmung in den untersten zwei Dritteln.
26. V.	3·1	2·4		1·7			Operation wie oben.
29. »	4·4	4·0	**3·4**	2·4	**2·2**	7	Krümmung in den untersten zwei Dritteln.
7. VI.	2·3	2·8		1·1			Operation wie oben.
9. »	3·2	3·1	**2·8**	1·8	**1·7**	9	Ganze Pflanze gekrümmt.
7. VI.	2·1	1·7		1·0			Durch einen Schnitt die Gesamtnervatur durchtrennt.
9. »	3·3	2·9	**2·5**	1·6	**1·3**	6	
10. »	5·0	5·3	**2·8**	2·0	**1·7**	2	Ganze Pflanze gekrümmt.

Folgerungen aus den Versuchen II.

Wenn man bei Keimlingen eben erwähnter Pflanzen die Nervatur nahe am Blattgrunde durchschneidet, respektive kleine, viereckige Fensterchen an der Stelle, wo die Hautnerven sich befinden, herausschneidet, oder überhaupt die ganze Mittelnervatur durch einen Schnitt nahe am Blattgrunde nicht leitungsfähig macht, so tritt nach 12 bis 24 Stunden eine Krümmung des Hypokotyls von dem verletzten Blatte weg, ein.

---

* Siehe Anmerkung p. 1235.

Die fetten Zahlen bedeuten die Maße der operierten Kotyledonen.

Diese Krümmung ist, wie man sieht, gerade entgegengesetzt derjenigen, welche eintritt, wenn man das ganze Keimblatt entfernt, und auch intensiver, speziell bei *Ricinus*. Abgesehen davon, daß eventuell der Wundreiz einen Tropismus ausgelöst hat, könnte man diese Krümmung folgendermaßen erklären: Die Kotyledonen beeinflussen jedenfalls den gesamten Stoffaustausch der Pflanze in einer gewissen Weise, wodurch die Nährstoffe aus der Wurzel in das Keimblatt hinaufgeleitet und dort zum Wachstum des Blattes selbst verwendet werden. Wird das Keimblatt amputiert, so hört dieser Reiz auf und die Nährstoffe wandern nicht mehr hinauf. Wird dagegen bloß die Nervatur durchschnitten, so besteht zwar dieser Reiz fort, die hinaufgeleiteten Nährstoffe können nicht weiter ins Blatt wandern und kommen dem darunter befindlichen Hypokotyle zugute. Infolge ungleichen Wachstums muß es sich dann krümmen.

Aus dem Versuche kann man auch den Schluß ziehen, daß die im Keimblatt enthaltenen Reservestoffe und Assimilationsprodukte nicht ohne weiteres zur Vergrößerung des Keimblattes verwendet werden, sondern daß hierzu auch noch Wasser mit den darin gelösten mineralischen Bestandteilen, welche aus der Wurzel hinaufgeleitet werden, notwendig ist. Es würde sonst nicht das Keimblatt, zu welchem der Nahrungszufluß von der Wurzel gestört ist, im Wachstume bedeutend zurückbleiben, wie man es ja aus den Maßen desselben in den Tabellen ersehen kann.

III. Versuche, bei welchen der eine der Kotyledonen an der Assimilation verhindert wurde durch Einhüllen mittels eines schwarzen Papiersäckchens.

1*	2*			3*		4*	Anmerkung
Ricinus							
14. IV., 11h	4·5	3·6		3·1			
5h	4·7	3·6		3·2		7	Krümmung in der obersten Hälfte.
19. IV., 11h	5·5	5·1	4·3	4·2	3·6	3·5	

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
		Ricinus			
15.IV., 11h	4·3	3·4	3·0		
5h	4·4	3·5	3·1	6	Krümmung in der obersten Hälfte
16. » 11h	5·0	3·8 **3·5**	3·4 **3·2**	2·5	
		Raphanus (5 Exemplare)			
22.IV., 11h	0·6—0·7				Der ursprünglich annähernd aufrechtstehende, zugedeckte Kotyledo hat sich über den anderen gebogen und es war auch eine Krümmung in dem obersten Teile des Hypokotyls vorhanden.
4h					
		Cucumis			
3.IV., 11h	1·6	1·2	7		
5h	1·8	1·5	8	3·5	Krümmungen im unteren Teile der Pflanze.
4.IV., 11h	1·6	2·1	1·3		
5h	—	—	—	4	Wie die vorhergehende.
5. » 11h	2·0	2·4 **2·1**	1·6 **1·3**	0	Keine Krümmung mehr; die Pflanze steht zum Horizont geneigt in einem Winkel von 40°.
4.IV., 11h	1·6	2·0	1·0		
5h	—	—	—	2·5	Wie die vorhergehende.
5. » 11h	2·1	2·1 **2·0**	1·2 **1·1**	0	Die ganze Pflanze steht geneigt.
4.IV., 11h	3·1	3·4	2·5		
5h	—	—	—	8·5	Wie die vorhergehende.
22.IV., 11h	2·0	2·0	1·1		
5h	—	—	—	1	Krümmung in den unteren zwei Dritteln.

1*	2*	3*				4*	Anmerkung
				Cucumis			
24. IV., 5h	3·5	2·7	**2·3**	1·6	**1·3**	2·5	Krümmung in der unteren Hälfte.
22. » 11h	2·4	2·0		1·2			
5h	—	—		—		4·5	Krümmung in den unteren drei Vierteln.
24. » 5h	3·2	3·0	**2·3**	1·7	**1·3**	5·5	
24. IV., 5h	2·4	2·8		1·6			Der Versuch wurde im Dunkeln angestellt. Der zugedeckte Kotyledo war zum Horizonte geneigt in einem Winkel von 24°. Über Nacht im Dunkeln hat sich dieser Winkel auf 10° verringert.
25. » 10h							Ans Licht gestellt. Der Winkel betrug 10°.
5h						4	Der Winkel betrug 35°.
4. IV., 11h	2·7	2·5		1·3			Im dunstgesättigten Raume.
5h							
5. » 11h	3·0	3·0	**2·6**	1·5	**1·4**	4·5	Krümmung im unteren Drittel.
4. IV., 11h	3·5	3·6		3·0			Im dunstgesättigten Raume.
5h	—	—		—		9·5	Krümmung im unteren Drittel.
5. » 11h	5·2	4·5	**4·0**	5·5	**5·0**	11	Krümmung im unteren Drittel.
				Helianthus			
3. IV., 11h	3·3	2·1		1·3			
5h	4·0	2·3		1·4		5	Krümmung in den obersten zwei Dritteln.
3. IV., 11h	2·5	1·8		1·1			
5h	2·5	1·9		1·1		12	Wegen geringen Wachstums schwache Krümmung.

1*	2*	3*		4*	Anmerkung
		Helianthus			
4.IV., 11^h	1·5	1·5	0·9		Im dunstgesättigten Raume.
5^h	2·8	2·0 **1·5**	1·2 **1·0**	7	
4. » 11^h	1·9	1·1	0·7		Krümmung in der obersten Hälfte. Krümmung hat sich über Nacht ausgeglichen.
5^h				2·5	
5. » 11^h	2·9	1·5 **1·3**	0·0 **0·7**		
24.IV., 11^h	3·5	1·5	0·9		Der zugedeckte Kotyledo war zum Horizonte geneigt um 11^h 24°, um 5^h 35°.
5^h	4·3	1·6	1·0	8	
24.IV., 11^h	3·6	1·5	0·9		
5^h	4·4	1·6	1·0	6	Ganze Pflanze gekrümmt.
24.IV., 11^h	3·5	1·7	1·2		Der zugedeckte Kotyledo war zum Horizonte geneigt um 11^h 48°, um 5^h 90°.
5^h	3·7	1·8	1·3	5	

Ergebnisse aus den Versuchen III.

Wird ein Keimblatt mittels eines lichtundurchlässigen schwarzen Papiersäckchens verdunkelt, so tritt bei Belichtung der übrigen Pflanze eine Krümmung des Hypokotyls ein, wobei der unterhalb des zugedeckten Kotyledo befindliche Teil konvex wird, also dieselbe Krümmung eintritt, wie bei den Versuchen II. Infolge dieser Krümmung hebt sich der durch das Gewicht des Papiersäckchens zuerst herabgedrückte Kotyledo so stark, daß er fast einen Winkel von 90° zu seiner ursprünglichen Lage einzuschließen vermag. Das zugedeckte Keimblatt kann sich innerhalb einer Stunde schon um 10 bis 15° heben und erreicht das Maximum der Bewegung innerhalb 6 bis 12 Stunden. Je intensiver die chemische Lichtintensität, desto stärker ist die Bewegung. Im Dunkeln tritt sie überhaupt nicht

* Siehe Anmerkung p. 1235.

ein; im Gegenteil, der zugedeckte Kotyledo senkt sich infolge des Gewichtes des Papiersäckchens. Das verdunkelte Keimblatt bleibt in seinem Wachstume bedeutend zurück, verliert seine grüne Farbe und wird gelblich.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen kann man folgende Beobachtungen heranziehen:

1. In der Dunkelheit wandern mehr Baustoffe aus den Kotyledonen in die übrigen Pflanzenteile als im Lichte (Godlewski).[1]

2. Lichtmangel verursacht unmittelbar Verkümmerung der Kotyledonen (Godlewski).[1]

3. Durch Ausschaltung der assimilierenden Tätigkeit der Blätter wird ein Teil der in den Chloroplasten vorhandenen Baustoffe frei und wandert zurück in die Stengelteile (Pfeffer,[2] Busch).[3]

4. Bei Monokotyledonenkeimlingen bewirkt die Belichtung der Koleoptile durch Reizleitung in basaler Richtung eine Wachstumshemmung des Hypokotyls (Fitting).[4]

Aus den vorher genannten Tatsachen 1., 2. und 3. kann man Nachstehendes ableiten:

In den drei erstgenannten Fällen tritt eine Störung des Wachstumsgleichgewichtes ein, indem der unter dem verdunkelten Kotyledo befindliche Teil des Hypokotyls mehr Nährstoffe zugeleitet bekommt als wie der andere, infolgedessen stärker wächst und als weitere Folge eine Krümmung entstehen muß. Fitting[4] sagt: »Es wäre jedenfalls sehr interessant, wenn es gelänge, allgemeiner nachzuweisen, daß durch Belichtung der Blätter ein wachstumshemmender Lichtreiz in die zugehörigen Internodien geleitet werde, und zwar wie bei den

[1] E. Godlewski, Zur Kenntnis der Ursachen der Formveränderungen etiolierter Pflanzen; Bot. Ztg., Bd. XXXVII (1879), p. 81 ff.

[2] W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Bd. II, p. 615.

[3] H. Busch, Untersuchungen über die Frage, ob das Licht zu den unmittelbaren Lebensbedingungen der Pflanzen oder einzelner Pflanzenorgane gehört; Berichte der Deutschen bot. Ges., Bd. VII (1889), Generalversammlungsheft, p. 25 ff.

[4] H. Fitting, Lichtperzeption und phototropische Empfindlichkeit, zugleich ein Beitrag zur Lehre vom Etiolement; Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLV (1907), p. 83 ff.

Paniceen- und Comelinaceen-Keimlingen nur basalwärts und daß wie bei meinen Versuchskeimlingen das Etiolement der Blätter und Achsen der Hauptsache nach allein durch einen direkten oder indirekten Lichtreiz ohne sonstige korrelative Beziehungen zustande käme. Damit würden alsdann neue allgemeine Beziehungen zwischen Blättern und Internodien festgestellt sein.«

Die Tatsache der Krümmung, respektive der Wachstumshemmung des unter dem belichteten Keimblatte befindlichen Teiles des Hypokotyls, die ich beobachtet habe, könnte als Beweis dienen dafür, daß Punkt 4 auch für Keimpflanzen der Dikotyledonen Geltung haben kann.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag für die korrelativen Beziehungen, die zwischen Hypokotyl und Kotyledo bestehen und sich nach einer Verletzung des einen Keimblattes in Richtungsbewegungen, hauptsächlich der Hypokotyle äußern. Folgende Eingriffe wurden vorgenommen:

1. Entfernt man bei einer dikotylen Keimpflanze das eine Keimblatt oder einen Teil desselben, so tritt eine Krümmung des Hypokotyls in der Richtung zur Wundstelle hin ein. Diesbezügliche Versuche wurden angestellt mit *Ricinus Gibsonii*, *Mirabilis Jalapa*, *Lepidium sativum*, *Sinapis alba*, *Raphanus sativus*, *Cucurbita Pepo*, *Cucumis sativus*, *Helianthus annuus* und *Calendula officinalis*.

2. Bei einigen Keimpflanzen, wie *Ricinus* und *Cucumis*, tritt eine der oben angegebenen Richtung entgegengesetzte Krümmung ein, wenn man die Leitungsbahnen des einen der Keimblätter mittels eines Schnittes durchtrennt und auf diese Weise den Stoffaustausch zwischen dem verletzten Kotyledo und den darunter befindlichen Teilen der Pflanze hemmt.

3. Wird das eine Keimblatt von *Ricinus*, *Cucumis*, *Helianthus* oder *Raphanus* durch ein schwarzes Papiersäckchen verdunkelt und dadurch die Assimilation verhindert, so tritt die Krümmung in der gleichen Richtung ein, wie wenn man die Leitungsbahnen durchschnitten hätte.

Durch alle diese Operationen werden die Ernährungsverhältnisse der einzelnen Pflanzenteile sicherlich gestört, welche Störung sich — sei sie durch die Änderung der korrelativen Beziehungen, sei sie durch die Verletzung selbst bedingt — nicht allein am Orte der Läsion äußert, sondern sogar auf benachbarte Teile der Pflanze übergreift und sich als Richtungsbewegung kundgibt.

Dadurch, daß die Leitungsbahnen des einen Keimblattes außer Funktion gesetzt werden, kommen die sonst zur Vergrößerung dieses Blattes verwendeten Baustoffe dem Hypokotyle zugute.

»Biologische Versuchsanstalt« in Wien.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I.

Abbildung 1. Zwei Keimpflanzen von *Sinapis alba* nach derselben Operation. Die Pflanzen rotierten um ihre horizontale Achse.

» 2. Zwei Keimpflanzen von *Lepidium sativum*, denen der eine Kotyledo amputiert wurde.

» 3. Eine Keimpflanze von *Ricinus Gibsonii* nach derselben Operation. Man kann deutlich die Asymmetrie der Blätter sehen.

Abbildung 1 und 2 wurden 24 Stunden, Abbildung 3 14 Tage nach der Operation aufgenommen.

Tafel II.

Abbildung 1. Keimpflanze von *Ricinus Gibsonii*, der die Nervatur des rechten Kotyledonen *a* durchschnitten in der Art, wie es Abbildung 2 dieser Tafel zeigt.

» 3. Zwei Keimpflanzen von *Cucumis sativus*, bei denen dieselbe Operation an den Keimblättern *a* vorgenommen wurde.

Abbildung 1 und 3 24 Stunden nach der Operation.

» 4. Zwei Keimpflanzen von *Helianthus annuus*, denen der Kotyledo *a* mit einem schwarzen Papiersäckchen verdunkelt wurde (am Beginne des Versuches).

» 5. Dieselben Pflanzen nach 12 Stunden.

» 6. Keimpflanze von *Ricinus Gibsonii*, der der eine Kotyledo *a* mit einem schwarzen Papiersäckchen verdunkelt wurde (am Beginne des Versuches).

» 7. Dieselbe Pflanze nach 6 Stunden.

» 8. Nach 24 Stunden Entfernung des Papiersäckchens, um den Größenunterschied der Blätter zu zeigen.